

5

## Einspritzdüse

### Stand der Technik

10 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Einspritzdüse für eine Brennkraftmaschine, insbesondere in einem Kraftfahrzeug mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

15 Eine derartige Einspritzdüse ist beispielsweise aus der DE 100 58 153 A1 bekannt und umfasst eine als Hohlneedle ausgebildete erste Düsennadel sowie eine koaxial zur ersten Düsennadel angeordnete zweite Düsennadel. Mit der ersten Düsennadel ist eine Einspritzung von Kraftstoff durch wenigstens ein erstes Spritzloch steuerbar, während mit der zweiten Düsennadel die Einspritzung von Kraftstoff durch wenigstens ein  
20 zweites Spritzloch steuerbar ist. Zur Betätigung der zweiten Düsennadel ist ein Steuerkolben vorgesehen und wirkt mit der zweiten Düsennadel oder mit einem die zweite Düsennadel enthaltenden zweiten Nadelverband axial zusammen. Dieser Steuerkolben ist an einer von den Spritzlöchern abgewandten Steuerfläche in einem Steuerraum angeordnet und dort mit dem darin herrschenden Steuerdruck beaufschlagbar. In einer Schließstellung der zweiten Düsennadel stützt sich der  
25 Steuerkolben axial an der zweiten Düsennadel oder am zweiten Nadelverband ab.

Die erste Düsennadel ist bei der bekannten Einspritzdüse direkt mit dem Einspritzdruck steuerbar. Das heißt, die erste Düsennadel öffnet, sobald an einer entsprechenden Druckstufe der ersten Düsennadel ein hinreichend großer Einspritzdruck anliegt. Wenn  
30 eine Kraftstoffeinspritzung nur durch das wenigstens eine erste Spritzloch durchgeführt werden soll, wird der Steuerraum mit einem entsprechend hohen Steuerdruck beaufschlagt, so dass die zweite Düsennadel verschlossen bleibt. Soll eine Kraftstoffeinspritzung zusätzlich durch das wenigstens eine zweite Spritzloch durchgeführt werden, wird im Steuerraum der Druck abgesenkt, bis der an einer  
35 entsprechenden Druckstufe an der zweiten Düsennadel angreifende Einspritzdruck ein Öffnen der zweiten Düsennadel bewirkt. Die zweite Düsennadel ist somit nicht durch

den Einspritzdruck, sondern durch den im Steuerraum herrschenden Steuerdruck gesteuert, was auch als Servosteuerung bezeichnet wird. Der Aufwand zur Realisierung einer derartigen Servosteuerung ist relativ groß.

## 5 Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Einspritzdüse mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs hat demgegenüber den Vorteil, dass sowohl die erste Düsennadel als auch die zweite Düsennadel unmittelbar in Abhängigkeit des Einspritzdrucks gesteuert sind. Der Aufwand zur Realisierung einer Servosteuerung entfällt somit bei der erfindungsgemäßen Einspritzdüse. Des Weiteren besitzt die erfindungsgemäße Einspritzdüse eine vergleichsweise hohe Schließdynamik für beide Düsennadeln sowie zusätzlich eine hohe Öffnungsdynamik für die zweite Düsennadel bei vergleichsweise großen Einspritzdrücken. Dies hat zur Folge, dass die Düsennadeln zum Schließen sehr schnell ansprechen, so dass extrem kurze Schließzeiten realisierbar sind. In entsprechender Weise spricht dann auch die zweite Düsennadel zum Öffnen schnell an, so dass auch relativ kurze Öffnungszeiten für die zweite Düsennadel erzielbar sind.

Durch die vorgeschlagene gedrosselte Kopplung des Steuerraums mit dem Druckraum kommt es nur verzögert zu einem Druckausgleich zwischen Druckraum und Steuerraum. Zum Öffnen der Düsennadeln wird im Druckraum der Druck, nämlich der Einspritzdruck, erhöht, um damit direkt eine entsprechende Druckstufe der ersten Düsennadel zu beaufschlagen. Bei hinreichendem Einspritzdruck öffnet die erste Düsennadel. Bei geöffneter erster Düsennadel kann sich an der zweiten Düsennadel an einer entsprechenden Druckstufe ebenfalls der Einspritzdruck aufbauen. Da der Druck im Steuerraum deutlich langsamer anwächst, kann die zweite Düsennadel schon bei geringeren Einspritzdrücken, also früher öffnen. Beim Schließen der Düsennadeln wirkt sich der verzögerte Druckausgleich zwischen Steuerraum und Druckraum zur Verkürzung der Schließzeiten aus. Zum Schließen der Düsennadeln wird der Einspritzdruck im Druckraum gesenkt. Wodurch der in Öffnungsrichtung wirkende Druck an den Druckstufen der Düsennadeln abfällt. Im Steuerraum kann der Druck nicht so schnell abfallen, so dass sich sehr starke Schließkräfte für die Düsennadeln ergeben, die den Schließvorgang beider Düsennadeln beschleunigen, also verkürzen. Wesentlich ist hierbei, dass kein zusätzliches Servoventil erforderlich ist, um die zweite Düsennadel zum Öffnen und zum Schließen anzusteuern.

Entsprechend einer vorteilhaften Ausführungsform kann eine erste Schließfeder vorgesehen sein, welche zum einen die erste Düsennadel oder den ersten Nadelverband in Schließrichtung antreibt und zum anderen direkt oder indirekt den ersten Steuerkolben in eine Ausgangsstellung antreibt, in der ein axiales Spiel zwischen erstem Steuerkolben und erster Düsennadel oder erstem Nadelverband vorliegt. Diese Bauweise hat zur Folge, dass sich zwischen dem ersten Steuerkolben und der ersten Düsennadel bzw. dem ersten Nadelverband ein axiales Spiel einstellt, wenn sich die erste Düsennadel in ihrer Schließstellung befindet. Beim Öffnen der ersten Düsennadel kann sich diese somit innerhalb des axialen Spiels unabhängig vom ersten Steuerkolben anheben, wodurch die erste Düsennadel von den im Steuerraum auf den ersten Steuerkolben einwirkenden Kräften entkoppelt ist.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung kann der erste Steuerkolben einen ersten Hubanschlag für die erste Düsennadel oder den ersten Nadelverband bilden, derart, dass der erste Steuerkolben in einer Öffnungsstellung der ersten Düsennadel direkt an dieser oder am ersten Nadelverband axial zur Anlage kommt. Für den Schließvorgang bedeutet dies, dass der erste Steuerkolben die im Steuerraum herrschende Druckkraft direkt an die erste Düsennadel bzw. an den ersten Nadelverband übertragen kann, insbesondere ohne Leerhub. Hierdurch wird zum einen ein rasches Ansprechen der ersten Düsennadel erreicht, zum anderen kann eine Geräuschentwicklung vermieden werden.

Bei einer anderen vorteilhaften Weiterbildung kann der erste Steuerkolben einen zweiten Hubanschlag für die zweite Düsennadel oder den zweiten Nadelverband bilden, derart, dass der erste Steuerkolben in einer Öffnungsstellung der zweiten Düsennadel direkt an dieser oder am zweiten Nadelverband axial zur Anlage kommt. Auch diese Ausführungsform gibt zum einen dem ersten Steuerkolben eine Doppelfunktion und gewährleistet zum anderen ein rasches Ansprechen der zweiten Düsennadel beim Schließen, wobei auch hier ein Leerhub und somit eine Geräuschentwicklung vermieden werden kann.

Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der erfindungsgemäßen Einspritzdüse ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus der Zeichnung und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnung.

Zeichnung

Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Einspritzdüse sind in der Zeichnung dargestellt und werden im Folgenden näher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche oder funktional gleiche Bauteile beziehen. Es zeigen, jeweils schematisch,

5

Fig. 1                einen Längsschnitt durch eine Einspritzdüse nach der Erfindung in einer stark vereinfachten Prinzipdarstellung,

10

Fig. 2 und 3        Detailansichten der Einspritzdüse, jedoch bei anderen Ausführungsformen..

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

15

Entsprechend Fig. 1 besitzt eine erfindungsgemäße Einspritzdüse 1 einen Düsenkörper 2, in dem eine erste Düsennadel 3 und eine zweite Düsennadel 4 hubverstellbar angeordnet sind. Der Düsenkörper 2 enthält wenigstens ein erstes Spritzloch 5 sowie wenigstens ein zweites Spritzloch 6. Üblicherweise sind mehrere erste Spritzlöcher 5 und/oder mehrere zweite Spritzlöcher 6 vorgesehen, die insbesondere bezüglich einer Längsachse 7 des Düsenkörpers 2 bzw. der Düsennadeln 3, 4 symmetrisch, zum Beispiel sternförmig, verteilt angeordnet sind. Durch die Spritzlöcher 5, 6 kann Kraftstoff in einen Einspritzraum 8 eingespritzt bzw. eingedüst werden, der beispielsweise durch einen Brennraum eines Zylinders, dem die Einspritzdüse 1 zugeordnet ist, oder durch einen zum jeweiligen Zylinder führenden Gemischbildungsraum gebildet sein kann.

20

25

Die erste Düsennadel 3 ist in einer ersten Nadelführung 9 hubverstellbar im Düsenkörper 2 gelagert und dient zum Steuern des wenigstens einen ersten Spritzlochs 5. Zu diesem Zweck wirkt die erste Düsennadel 3 mit einem ersten Dichtsitz 10 zusammen, der bezüglich einer Kraftstoffversorgung der Spritzlöcher 5, 6 stromauf des wenigstens einen ersten Spritzlochs 5 angeordnet ist. Die Kraftstoffversorgung umfasst eine Kraftstoffversorgungsleitung 11, die im Düsenkörper 2 zu einem Düsenraum 12 führt. Der Düsenraum 12 führt über einen Ringraum 13 zu den Spritzlöchern 5, 6. Im Düsenraum 12 bzw. im Ringraum 13 besitzt die erste Düsennadel 13 zumindest eine erste Druckstufe 14, die dadurch ausgebildet ist, dass eine erste Sitzquerschnittsfläche 15 des ersten Dichtsitzes 10 kleiner ist als eine erste Führungsquerschnittsfläche 16 der ersten Nadelführung 9.

30

35

Des Weiteren ist die erste Düsenadel 3 hier ein Bestandteil eines ersten Nadelverbands 17, der hier exemplarisch eine Kopplungshülse 18 sowie ein zwischen Kopplungshülse 18 und erster Düsenadel 3 angeordnetes Zwischenglied 19 umfasst. Die Bestandteile des ersten Nadelverbands 17, also hier die erste Düsenadel 3, das Zwischenglied 19 und die Kopplungshülse 18 bilden eine gemeinsam hubverstellbare Einheit, die zur Übertragung von Druckkräften gestaltet ist. Grundsätzlich ist es möglich, dass die einzelnen Bestandteile des ersten Nadelverbands 17 durch separate Körper gebildet sind, die an ihren axialen Stirnseiten lediglich aneinander anliegen, ohne direkt aneinander befestigt zu sein. Ebenso ist es grundsätzlich möglich, zumindest zwei der einzelnen Komponenten aneinander zu befestigen oder zu einem integralen Bauteil zusammenzufassen.

Die erste Düsenadel 3 bzw. der erste Nadelverband 17 wirkt mit einer ersten Schließfeder 20 zusammen, welche die erste Düsenadel 3 in einer durch einen Pfeil symbolisierten Schließrichtung 21 vorspannt. Bei der hier gezeigten Ausführungsform stützt sich die erste Schließfeder 20 dabei einerseits am Zwischenglied 19 und andererseits an einem Mitnehmerring 22 ab, der sich seinerseits über eine Anschlaghülse 23 am Düsenkörper 2 abstützt, der zu diesem Zweck eine entsprechend ausgeformte, hier radial nach innen vorstehende Schulter 24 aufweist, die als Anschlag dient. Bei einer alternativen Bauform kann die Anschlaghülse 23 auch fest mit dem Düsenkörper 2 verbunden oder integral an diesem ausgeformt sein.

Des Weiteren ist die erste Düsenadel 3 als Hohladel ausgebildet, so dass die zweite Düsenadel 4 coaxial in der ersten Düsenadel 3 angeordnet werden kann. Die zweite Düsenadel 4 ist dabei in einer zweiten Nadelführung 25 in der ersten Düsenadel 3 hubverstellbar gelagert. Die zweite Düsenadel 4 wirkt mit einem zweiten Dichtsitz 26 zusammen, der bezüglich der Kraftstoffversorgung stromab des wenigstens einen ersten Spritzlochs 5, jedoch stromauf des wenigstens einen zweiten Spritzlochs 6 angeordnet ist. Dementsprechend dient die zweite Düsenadel 4 zur Steuerung des wenigstens einen zweiten Spritzlochs 6. An ihrem, den Spritzlöchern 5, 6 zugewandten Ende ist die zweite Düsenadel 4 mit wenigstens einer zweiten Druckstufe 27 versehen, die dadurch ausgebildet ist, dass eine zweite Sitzquerschnittsfläche 28 des zweiten Dichtsitzes 26 kleiner ist als eine zweite Führungsquerschnittsfläche 29 der zweiten Nadelführung 25.

Die zweite Düsenadel 4 ist Bestandteil eines zweiten Nadelverbands 30, der neben der ersten Düsenadel 4 zumindest eine Kopplungsstange 31 umfasst. Die Kopplungsstange

31 erstreckt sich dabei innerhalb der ersten Düsennadel 3 sowie innerhalb der Kopplungshülse 18. Des Weiteren ist auch das Zwischenglied 19 als zentral offener Ringkörper ausgebildet, so dass sich die Kopplungsstange 31 auch koaxial durch das Zwischenglied 19 erstrecken kann. Auch der zweite Nadelverband 30 bildet eine auf  
5 Druck belastbare gemeinsam hubverstellbare Einheit.

Die erfindungsgemäße Einspritzdüse 1 ist außerdem mit einem Steuerraum 32 ausgestattet, der über eine Drosselleitung 33 mit einem Druckraum 34 kommuniziert. Die Drosselleitung 33 besitzt einen vorbestimmten Strömungswiderstand, der zweckmäßig  
10 durch eine entsprechende Drossel 35 realisierbar ist. Der Druckraum 34 wirkt mit einer nicht gezeigten Druckerzeugungseinrichtung und/oder Kraftstoffversorgungseinrichtung zusammen, deren druckerzeugende Wirkung hier durch einen hubverstellbaren Kolben 36 angedeutet ist. Bei der Druckerzeugungseinrichtung bzw.  
Kraftstoffversorgungseinrichtung handelt es sich beispielsweise um eine  
15 Kraftstoffhochdruckpumpe, welche die Einspritzdüse 1 mit dem benötigten Kraftstoffhochdruck versorgt. Zweckmäßig handelt es sich somit bei der hier gezeigten Einspritzdüse 1 um einen Bestandteil einer sogenannten „Pumpen-Düsen-Einheit“. Bei einer Brennkraftmaschine, die mit einem Pumpen-Düsen-System zur Kraftstoffeinspritzung arbeitet, ist jedem Zylinder eine eigene Pumpen-Düsen-Einheit  
20 zugeordnet.

Der Druckraum 34 kommuniziert über eine Verbindung 37 mit der Kraftstoffversorgungsleitung 11, wobei die Verbindung 37 zwischen den Spritzlöchern 5, 6 und einem Ventil 38 an die Kraftstoffversorgungsleitung 11 angeschlossen ist. Das  
25 Ventil 38, insbesondere ein Magnetventil, dient zum Öffnen und Sperren der Kraftstoffversorgungsleitung 11. Bei geöffnetem Ventil 38 strömt der Kraftstoff vom Druckraum 34 durch die Verbindung 37 in die Kraftstoffversorgungsleitung 11 und von dieser entsprechend einem Pfeil 39 von den Spritzlöchern 5, 6 weg, beispielsweise in ein Reservoir, das zweckmäßig durch einen Kraftstofftank der Brennkraftmaschine gebildet  
30 ist. Da das Reservoir vergleichsweise drucklos ist, kann sich dabei in der Kraftstoffversorgungsleitung 11 kein Hochdruck aufbauen. Bei geschlossenem Ventil 38 kann der Kraftstoff nicht in das Reservoir entweichen und strömt dementsprechend gemäß einem Pfeil 40 in Richtung der Spritzlöcher 5, 6, wobei sich gleichzeitig der geforderte Hochdruck einstellt.

Die erfindungsgemäße Einspritzdüse 1 ist außerdem mit einem ersten Steuerkolben 41 sowie mit einem zweiten Steuerkolben 42 ausgestattet. Der erste Steuerkolben 41 ist als Hohlkolben ausgebildet. Der zweite Steuerkolben 42 ist coaxial im ersten Steuerkolben 41 angeordnet.

5

10

15

20

Der erste Steuerkolben 41 wirkt mit der ersten Düsennadel 3 bzw. mit dem ersten Nadelverband 17 zusammen. Zu diesem Zweck stützt sich der erste Steuerkolben 41 in der hier gezeigten Ausgangsstellung, die sich bei geschlossener erster Düsennadel 3 einstellt, am Mitnehmerring 22 ab, so dass er sich über den Mitnehmerring 22 und die erste Schließfeder 20 am Zwischenglied 19 und somit am ersten Nadelverband 17 abstützt. Des Weiteren weist der erste Steuerkolben 41 an einer von den Spritzlöchern 5, 6 abgewandten Seite eine erste Steuerfläche 43 auf, die im Steuerraum 32 angeordnet ist, so dass der im Steuerraum 32 herrschende Steuerdruck die erste Steuerfläche 43 des ersten Steuerkolbens 41 in der Schließrichtung 21 beaufschlagt. Des Weiteren erfolgt die Dimensionierung und die Positionierung des ersten Steuerkolbens 41 so, dass in der hier gezeigten Ausgangsstellung des ersten Steuerkolbens 41 ein axiales Spiel 44 zwischen dem ersten Steuerkolben 41 und der ersten Düsennadel 3 bzw. dem ersten Nadelverband 17 ausgebildet ist. Bei der hier gezeigten Ausführungsform wird das axiale Spiel 44 durch einen axialen Abstand zwischen den einander zugewandten axialen Stirnseiten des ersten Steuerkolbens 41 und der Kopplungshülse 18 realisiert.

25

Im Unterschied dazu liegt der zweite Steuerkolben 42 permanent an der zweiten Düsennadel 4 bzw. hier am zweiten Nadelverband 30 an. Das heißt, der zweite Steuerkolben 42 liegt auf der ihm zugewandten Stirnseite der Kopplungsstange 31 auf. Der zweite Steuerkolben 42 bildet dadurch einen Bestandteil des zweiten Nadelverbands 30, dessen Bestandteile zur Druckübertragung miteinander zusammenwirken. Dabei gilt auch für den zweiten Nadelverband 30, dass zumindest zwei seiner Bestandteile aneinander befestigt oder als integrale Einheit ausgebildet sein können.

30

35

Der zweite Steuerkolben 42 erstreckt sich durch den ersten Steuerkolben 41 hindurch ebenfalls in den Steuerraum 32. Der zweite Steuerkolben 42 besitzt an einer von den Spritzlöchern 5, 6 abgewandten Seite eine zweite Steuerfläche 45, so dass auch der zweite Steuerkolben 42 an der zweiten Steuerfläche 45 mit dem im Steuerraum 32 herrschenden Steuerdruck beaufschlagbar ist. Die Beaufschlagung des zweiten Steuerkolbens 42 mit dem Steuerdruck erfolgt dabei nicht direkt, sondern indirekt über einen Federteller 46, der im Steuerraum 32 hubverstellbar gelagert ist. Der Federteller 46

füllt bei der hier gezeigten Ausführungsform den Querschnitt des Steuerraums 32 aus, besitzt jedoch zumindest eine Druckausgleichsöffnung 47, welche die beiden, voneinander abgewandten Axialseiten 48 und 49 des Federtellers 46 miteinander kommunizierend verbindet. Das heißt, dass durch die wenigstens eine

5 Druckausgleichsöffnung 47 ein der einen Axialseite 48 zugewandter Teil des Steuerraums 32 mit einem der zweiten Axialseite 49 zugewandten Teil des Steuerraums 32 kommunizieren kann. Dementsprechend herrscht in beiden durch den Federteller 46 voneinander getrennten Teilen des Steuerraums 32 derselbe Steuerdruck. Die Druckausgleichsöffnungen 47 sind dabei so dimensioniert, dass auch bei dynamischen

10 Druckänderungen im Steuerraum 32 diese im wesentlichen gleichzeitig in beiden Teilen des Steuerraums 32 vorliegen. Somit herrscht an beiden Axialseiten 48 und 49 des Federtellers 46 derselbe Steuerdruck, der im Druckraum 32 über den Federteller 46 auf die zweite Steuerfläche 45 des zweiten Steuerkolbens 42 wirkt, da sich der zweite Steuerkolben 42 am Federteller 46 mit seiner zweiten Steuerfläche 45 abstützt.

15 Alternativ kann die wenigstens eine Druckausgleichsöffnung 47 auch so ausgelegt werden, dass die Öffnungs- und Schließgeschwindigkeit des zweiten Nadelverbands 30 eine gewünschte optimale Geschwindigkeit erreicht.

Der zweiten Düsennadel 4 bzw. dem zweiten Nadelverband 30 ist eine zweite

20 Schließfeder 50 zugeordnet, die bei der hier gezeigten Ausführungsform im Steuerraum 32 angeordnet ist und die sich einerseits am Federteller 46 und andererseits an einer Wandung 51 des Düsenkörpers 2 abstützt, die den Steuerraum 32 an einer von den Spritzlöchern 5, 6 entfernten Seite axial begrenzt.

25 Die erfindungsgemäße Einspritzdüse 1 arbeitet wie folgt:

In dem hier gezeigten Ausgangszustand sind beide Düsennadeln 3, 4 geschlossen, so dass keine Kraftstoffeinspritzung stattfindet. Das Ventil 38 ist geöffnet, so dass ein

30 gegebenenfalls in den Druckraum 34 gefördertes Kraftstoffvolumen entsprechend dem Pfeil 39 in das Reservoir entweichen kann.

Für bestimmte Betriebszustände der Brennkraftmaschine kann eine Kraftstoffeinspritzung ausschließlich durch das wenigstens eine erste Spritzloch 5

35 erforderlich sein. Um eine Kraftstoffeinspritzung ausschließlich durch das wenigstens eine erste Spritzloch 5 zu realisieren, wird das Ventil 38 gesperrt und in der Folge im Druckraum 34 der Druck auf einen relativ niedrigen Einspritz-Hochdruck erhöht. Der



Druckanstieg im Druckraum 34 pflanzt sich über die Kraftstoffversorgungsleitung 11 in den Düsenraum 12 und in den Ringraum 13 fort, so dass er auch an der wenigstens einen ersten Druckstufe 14 der ersten Düsennadel 3 wirksam ist. Die an der wenigstens einen ersten Druckstufe 14 angreifenden Kräfte wirken in einer durch einen Pfeil symbolisierten Öffnungsrichtung 52 und somit entgegen der Schließkraft der ersten Schließfeder 20. Bei einem hinreichenden Einspritz-Hochdruck kehrt sich die Kräftebilanz an der ersten Düsennadel 3 bzw. am ersten Nadelverband 17 um, so dass eine in Öffnungsrichtung 52 wirkende resultierende Kraft entsteht. Die erste Düsennadel 3 kann dann vom ersten Dichtsitz 10 abheben. In der Folge kommuniziert das wenigstens eine erste Spritzloch 5 mit dem Ringraum 13, so dass Kraftstoff durch das wenigstens eine erste Spritzloch 5 in den Brennraum 8 eingedüst werden kann.

Sobald die erste Düsennadel 3 öffnet, kann sich auch an der wenigstens einen zweiten Druckstufe 27 der zweiten Düsennadel 4 ein in Öffnungsrichtung wirkender Druck aufbauen. Bei dem in diesem Fall eingestellten, relativ niedrigen Einspritz-Hochdruck bleibt die zweite Düsennadel 4 jedoch verschlossen, da die in Schließrichtung 21 wirksamen Kräfte, also die Schließkraft der zweiten Schließfeder 50 und die Steuerdruckkraft an der zweiten Steuerfläche 45 noch überwiegen.

Bei dem relativ niedrigen Einspritz-Hochdruck wirkt sich der verzögerte Druckaufbau im Steuerraum 32 nicht oder kaum auf das Öffnungsverhalten der ersten Düsennadel 3 aus. Der im Steuerraum 32 herrschende Steuerdruck ist somit groß genug, um hinreichende Schließkräfte über den zweiten Steuerkolben 42 in den zweiten Nadelverband 30 einzuleiten, so dass die zweite Düsennadel 4 verschlossen bleibt. Darüber hinaus ist die erste Düsennadel 3 bzw. der ersten Nadelverband 17 aufgrund des Axialspiels 44 vom ersten Steuerkolben 41 entkoppelt, solange die an der ersten Steuerfläche 43 wirksame Schließkraft nicht größer ist als die von der ersten Schließfeder 20 erzeugte Schließkraft. Solange jedenfalls kann der erste Steuerkolben 41 bei einem Druckanstieg im Steuerraum 32 den Mitnehmerring 22 nicht in der Schließrichtung 21 antreiben.

Die Öffnungsbewegung der ersten Düsennadel 3 bzw. des ersten Nadelverbands 17 kann durch einen ersten Hubanschlag 53 begrenzt sein, der hier exemplarisch axial zwischen dem ersten Steuerkolben 41 und der Kopplungshülse 18 ausgebildet ist. Das heißt, der erste Nadelverband 17 kommt am Ende seines Öffnungshubs am ersten Steuerkolben 41 zur Anlage.

Alternativ kann der erste Hubanschlag 53' beispielsweise auch zwischen der ersten Düsennadel 3 und einer entsprechenden Schulter 54 des Düsenkörpers 2 ausgebildet sein. Bei dieser Ausführungsform ist dann in der Schließstellung der ersten Düsennadel 3 ein Axialabstand zwischen der genannten Schulter 54 des Düsenkörpers 2 und der damit zusammenwirkenden axialen Stirnseite der ersten Düsennadel 3 kleiner als das Axialspiel 44.

Zum Schließen der ersten Düsennadel 3 wird das Ventil 38 geöffnet, so dass der relativ niedrige Einspritz-Hochdruck in der Kraftstoffversorgungsleitung 11 zusammenbricht. Dementsprechend überwiegen dann wieder die Schließkräfte im ersten Düsennadelverband 17, wodurch dieser in der Schließrichtung 21 angetrieben wird. Sobald die erste Düsennadel 3 in ihren ersten Sitz 10 einfährt ist der Einspritzvorgang beendet. Der verzögerte Druckabfall im Steuerraum 32 unterstützt hier die Schließbewegung des ersten Nadelverbands 17 nicht, da die Schließkraft der ersten Schließfeder 20 groß genug ist, den ersten Steuerkolben 41 in dessen Ausgangsposition zu halten.

Bei anderen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine kann es erforderlich sein, mehr Kraftstoff bei einem mittleren Einspritz-Hochdruck nur durch das wenigstens eine erste Spritzloch 5 einzudüsen. Zu diesem Zweck werden das Ventil 38 gesperrt und im Druckraum 34 langsam Hochdruck erzeugt. Der mittlere Einspritz-Hochdruck baut sich dann in der Kraftstoffversorgungsleitung 11 auf, wodurch zunächst die erste Düsennadel 3 geöffnet wird. Durch die langsame Druckerhöhung im Druckraum 34 baut sich über die Drossel 35 nur gering verzögert der Druck im Steuerraum 32 auf.

Über die erste Steuerfläche 43 baut sich über die Kopplungshülse 18 eine schließende Nadelkraft an der ersten Düsennadel 3 auf, welche kleiner als die öffnende Nadelkraft ist. Über die zweite Steuerfläche 45 baut sich eine schließende Nadelkraft am zweiten Nadelverband 30 auf, welche mit der schließend wirkenden Federvorspannkraft der zweiten Schließfeder 50 größer ist als die öffnend wirkenden Kräfte am zweiten Nadelverband 30. Die zweite Düsennadel 4 öffnet folglich nicht.

Zum Schließen der ersten Düsennadel 3 wird das Ventil 38 geöffnet, so dass der relativ mittlere Einspritz-Hochdruck in der Kraftstoffversorgungsleitung 11 zusammenbricht. Dementsprechend überwiegen dann wieder die Schließkräfte im ersten Nadelverband 17, wodurch dieser in der Schließrichtung 21 angetrieben wird. Sobald die erste Düsennadel 3 in ihren ersten Sitz 10 einfährt ist der Einspritzvorgang beendet. Der verzögerte

Druckabfall im Steuerraum 32 unterstützt hier die Schließbewegung des ersten Nadelverbands 17. Der Steuerdruck erzeugt über die erste Steuerfläche 43 eine schließende Nadelkraft am ersten Nadelverband 17, welcher die erste Düsennadel 3 in den ersten Dichtsitz 10 drückt. Bei weiter abfallendem Steuerdruck wird über die erste Schließfeder 20 die erste Düsennadel 3 im ersten Dichtsitz 10 gehalten und der erste Steuerkolben 41 in seine Ausgangsposition bewegt.

Bei anderen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine kann es erforderlich sein, mehr Kraftstoff bei einem mittleren bis hohen Einspritz-Hochdruck sowohl durch das wenigstens eine erste Spritzloch 5 als auch durch das wenigstens eine zweite Spritzloch 6 einzudüsen. Zu diesem Zweck werden das Ventil 38 gesperrt und im Druckraum 34 relativ mittel bis schnell ein mittlerer bis hoher Hochdruck erzeugt. Der Einspritz-Hochdruck baut sich dann in der Kraftstoffversorgungsleitung 11 auf, wodurch zunächst die erste Düsennadel 3 geöffnet wird. Anschließend baut sich an der wenigstens einen zweiten Druckstufe 27 der zweiten Düsennadel 4 ebenfalls der Einspritz-Hochdruck auf. Durch den mittleren bis schnellen Druckaufbau baut sich über die Drossel 35 der Druck im Steuerraum 32 nur verzögert auf und es werden über die Steuerflächen 43 und 45 der Steuerkolben 41 und 42 nur verzögert schließende Kräfte aufgebaut. Die hierbei entstehenden Öffnungskräfte überwinden die auf den zweiten Nadelverband 30 einwirkenden Schließkräfte. Somit kann auch die zweite Düsennadel 4 öffnen.

Der Öffnungshub der zweiten Düsennadel 4 wird durch einen zweiten Hubanschlag 55 begrenzt, der hier zwischen der Kopplungsstange 31 und dem ersten Steuerkolben 41 ausgebildet ist. Das heißt, bei hinreichendem Öffnungshub kommt der zweite Nadelverband 30 an einer axialen Stirnseite der Kopplungsstange 31 an der zugewandten axialen Stirnseite des ersten Steuerkolbens 41 zur Anlage.

Alternativ kann der zweite Hubanschlag 55' gemäß Fig. 2 auch an einer Zwischenscheibe 56 ausgestaltet sein. Ebenso kann der zweite Hubanschlag 55'' gemäß Fig. 3 direkt an der ersten Düsennadel 3 vorgesehen sein.

Hierbei ist von Bedeutung, dass sowohl beim relativ langsamen Einspritz-Hochdruck Aufbau als auch beim mittleren Einspritz-Hochdruck Aufbau die zeitliche Verzögerung, mit der sich der jeweilige Einspritz-Hochdruck über die Drosselleitung 33 auch im Steuerraum 32 aufbaut, noch vergleichsweise gering ist, so dass nur vergleichsweise geringe Druckdifferenzen zwischen dem Druckraum 34 und dem Steuerraum 32

entstehen. Dementsprechend reagiert die zweite Düsennadel 4 vergleichsweise langsam auf den ansteigenden Druck an der wenigstens einen zweiten Druckstufe 27 und öffnet vergleichsweise spät.

5        Demnach kommt es zwischen Steuerraum 32 und Druckraum 34 zu einer kleinen bis mittleren Druckdifferenz, so dass zum Öffnen der zweiten Düsennadel 4 neben der Schließkraft der zweiten Schließfeder 50 auch eine an der zweiten Steuerfläche 45 angreifende erhöhte Schließkraft aufgrund des erhöhten Steuerdrucks im Steuerraum 32  
10        überwunden werden muss. Bei niedrigen und mittleren Einspritz-Hochdrücken wirkt somit der im Steuerraum 32 ansteigende Steuerdruck einer raschen Öffnungsbewegung der zweiten Düsennadel 4 entgegen.

      Zum Beenden des Einspritzvorgangs wird das Ventil 38 wieder geöffnet, so dass der mittlere Einspritz-Hochdruck in der Kraftstoffversorgungsleitung 11 zusammenbricht.  
15        Dementsprechend überwiegen sowohl am ersten Nadelverband 17 als auch am zweiten Nadelverband 30 die in Schließrichtung 21 wirksamen Kräfte, so dass beide Düsennadeln 3 und 4 in der Folge schließen. Durch den verzögerten Druckabbau im Steuerraum 32 wird der Schließvorgang der beiden Düsennadeln 3, 4 unterstützt.

20        Bei anderen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine kann es erforderlich sein, bei einem relativ hohen Einspritzdruck sowohl durch das wenigstens eine erste Spritzloch 5 als auch durch das wenigstens eine zweite Spritzloch 6 Kraftstoff in den Brennraum 8 viel Kraftstoff schnell einzudüsen. Beispielsweise arbeitet die Brennkraftmaschine dann bei vergleichsweise hohen Drehzahlen, so dass es in Verbindung mit dem relativ hohen  
25        Einspritzdruck wünschenswert ist, für beide Düsennadeln 3 und 4 sowohl extrem kurze Öffnungszeiten als auch extrem kurze Schließzeiten zu erzielen.

      Zum Öffnen der Düsennadeln 3, 4 wird auch hier das Ventil 38 gesperrt und im Druckraum 34 der gewünschte, relativ hohe Einspritz-Hochdruck erzeugt. Dieser hohe  
30        Einspritz-Hochdruck pflanzt sich über die Kraftstoffversorgungsleitung 11 an die wenigstens eine erste Druckstufe 14 der ersten Düsennadel 3 fort. Da die erste Düsennadel 3 so ausgelegt ist, dass sie bereits bei einem relativ niedrigen Einspritz-Hochdruck öffnet, reagiert diese sofort und öffnet sehr früh. Nach dem Öffnen der ersten Düsennadel 3 steigt auch an der wenigstens einen zweiten Druckstufe 27 der zweiten  
35        Düsennadel 4 der Druck an. Dabei steigt der Kraftstoffdruck an der wenigstens einen zweiten Druckstufe 27 der zweiten Düsennadel 4 deutlich schneller an als im Steuerraum

32, der über die Drosselleitung 33 mit dem Druckraum 34 verbunden ist. Dadurch stellt sich eine relativ große Druckdifferenz zwischen Druckraum 34 und Steuerraum 32 ein, bei der sich die gedrosselte Verbindung besonders deutlich auswirkt. Die in Schließrichtung 21 wirksamen Kräfte am zweiten Nadelverband 30 sind im wesentlichen nur die Schließkraft der zweiten Schließfeder 50 sowie die Druckkraft an der zweiten Steuerfläche 35 des noch niedrigen Steuerdrucks im Steuerraum 32. Demnach kann der sich an der zweiten Druckstufe 27 aufbauende Kraftstoff-Hochdruck sehr schnell die Schließkräfte des zweiten Nadelverbands 30 übersteigen, so dass auch die zweite Nadel 4 sehr schnell reagiert und öffnet.

Bei hinreichend langer Öffnungszeit stellt sich der hohe Einspritzdruck des Druckraums 34 verzögert über die Drosselleitung 33 auch im Steuerraum 32 ein.

Soll nun der Einspritzvorgang beendet werden, wird das Ventil 38 geöffnet und der hohe Einspritzdruck im Druckraum 34 fällt ab. Dieser Druckabfall pflanzt sich dann sofort an die Druckstufen 14 und 27 der Düsenadeln 3 und 4 fort, so dass die in Öffnungsrichtung wirksamen Kräfte an den Nadelverbänden 17 und 30 wegfallen. Gleichzeitig stellt sich zwischen Steuerraum 32 und Druckraum 34 aufgrund der Drossel 35 eine vergleichsweise große Druckdifferenz ein, so dass nun sowohl an der ersten Steuerfläche 43 als auch an der zweiten Steuerfläche 45 der noch relativ große Steuerdruck des Steuerraums 32 angreift und dementsprechend große Schließkräfte in den ersten Steuerkolben 41 und in den zweiten Steuerkolben 45 einleitet.

Dies hat zur Folge, dass sich der erste Steuerkolben 41 in Schließrichtung 21 in Bewegung setzt. Sofern der erste Steuerkolben 41 wie hier den zweiten Hubanschlag 55 für die zweite Düsenadel 4 bildet, nimmt er dabei den zweiten Nadelverband 30 mit. Oder er wird über den alternativen zweiten Hubanschlag 55' oder 55'' mitgenommen. Des Weiteren kann der erste Steuerkolben 41 gleichzeitig den ersten Hubanschlag 53 für die erste Düsenadel 3 bilden, so dass er bei seiner Schließbewegung auch den ersten Nadelverband 17 mitnimmt. Sofern zwischen dem ersten Steuerkolben 41 und der Kopplungshülse 18 noch ein verbleibendes Axialspiel vorhanden ist, führt der erste Steuerkolben 41 hinsichtlich des ersten Nadelverbands 17 zuerst einen relativ kleinen Leerhub aus und nimmt erst dann den ersten Nadelverband 17 mit. Durch den hohen Druck im Steuerraum 32 können somit die beiden Düsenadeln 3, 4 bzw. die beiden Nadelverbände 17, 30 über die Steuerkolben 41, 42 impulsartig in die Schließrichtung 21 angestoßen werden, was zur Erzielung sehr kurzer Schließzeiten für beide Düsenadeln

3, 4 führt. Durch die Hubbewegung der Steuerkolben 41, 42 und durch die Drossel 35 wird der Steuerdruck im Steuerraum 32 entlastet.

Die impulsartige oder schlagartige Beschleunigung durch den hohen Steuerdruck hauptsächlich an der ersten Steuerfläche 43 und zusätzlich an der zweiten Steuerfläche 45 überwindet die Trägheitskräfte zur Beschleunigung der Nadelverbände 17, 30 und ermöglicht dadurch extrem kurze Schließzeiten, auch wenn der Steuerdruck im Steuerraum 32 durch die Axialverstellung des ersten Steuerkolbens 41 abnimmt. Wichtig ist außerdem, dass die extrem kurzen Schließzeiten umso kürzer werden, je höher der jeweilige Einspritz-Hochdruck gewählt wird. Bei mittleren und kleineren Einspritz-Hochdruck Änderungen wirkt sich der Verzögerungseffekt aufgrund der Drosselleitung 33 für die Zunahme bzw. für die Abnahme des Steuerdrucks im Steuerraum 32 nicht oder nicht deutlich aus, was für die jeweiligen Betriebszustände der Brennkraftmaschine auch erwünscht ist. Besonders vorteilhaft ist bei der erfindungsgemäßen Einspritzdüse 1, das beide Düsennadeln 3, 4 durch den Einspritzdruck gesteuert sind, so dass keine Servosteuerung erforderlich ist. Der Aufwand zur Realisierung der erfindungsgemäßen Einspritzdüse 1 ist demnach vergleichsweise gering.

Beim Schließen der Düsennadeln 3 und 4 nimmt der erste Steuerkolben 41 neben den beiden Nadelverbänden 17, 30 außerdem den Mitnehmerring 22 mit, wobei er gleichzeitig die erste Schließfeder 20 zusätzlich spannt. Hierdurch vergrößert sich die Schließkraft der ersten Schließfeder 20, so dass beim Nachlassen der Schließkraft des ersten Steuerkolbens 41 insgesamt noch immer eine erhöhte Schließkraft am ersten Nadelverband 17 angreift, um die erste Düsennadel 3 möglichst schnell zu schließen. Wichtig für eine schnelle Beendigung des Einspritzvorgangs ist vor allem ein schnelles Schließen der ersten Düsennadel 3. Denn sobald die erste Düsennadel 3 geschlossen ist, ist auch das wenigstens eine zweite Spritzloch 6 von der Kraftstoffzufuhr getrennt, so dass die Kraftstoffeinleitung durch das wenigstens eine zweite Spritzloch 6 beendet ist, auch wenn die zweite Düsennadel 4 noch nicht in den zweiten Dichtsitz 26 eingefahren ist.

Sobald durch die Drosselleitung 33 der Steuerdruck hinreichend abfällt, kann die erste Schließfeder 20 über den Mitnehmerring 22 den ersten Steuerkolben 41 wieder in seine Ausgangslage gemäß Fig. 1 zurücktreiben. Das Ende der Rückstellbewegung wird dann erreicht, wenn der Mitnehmerring 22 an der Anschlaghülse 23 und diese an der Schulter 24 zur Anlage kommt.

5

## Ansprüche

1. Einspritzdüse für eine Brennkraftmaschine, insbesondere in einem Kraftfahrzeug,
- 10 - mit einer als Hohl-nadel ausgebildeten ersten Düsennadel (3), mit der eine Einspritzung von Kraftstoff durch wenigstens ein erstes Spritzloch (5) steuerbar ist,
- mit einer koaxial zur ersten Düsennadel (3) angeordneten zweiten Düsennadel (4), mit der die Einspritzung von Kraftstoff durch wenigstens ein zweites Spritzloch (6) steuerbar ist,
- mit einem Steuerraum (32),
- 15 - mit einem zweiten Steuerkolben (42), der mit der zweiten Düsennadel (4) oder mit einem die zweite Düsennadel (4) enthaltendem zweiten Nadelverband (30) axial zusammenwirkt,
- wobei der zweite Steuerkolben (42) an einer von den Spritzlöchern (5, 6) abgewandten zweiten Steuerfläche (45) im Steuerraum (32) angeordnet und dort mit dem darin
- 20 herrschenden Steuerdruck beaufschlagbar ist,
- wobei sich der zweite Steuerkolben (42) in einer Schließstellung der zweiten Düsennadel (4) axial an der zweiten Düsennadel (4) oder am zweiten Nadelverband (30) abstützt,
- dadurch gekennzeichnet,
- 25 - dass ein als Hohlkolben ausgebildeter erster Steuerkolben (41) vorgesehen ist, der mit der ersten Düsennadel (3) oder mit einem die erste Düsennadel (3) enthaltenden ersten Nadelverband (17) axial zusammenwirkt,
- dass der zweite Steuerkolben (42) koaxial zum ersten Steuerkolben (41) angeordnet ist,
- dass der erste Steuerkolben (41) an einer von den Spritzlöchern (5, 6) abgewandten
- 30 ersten Steuerfläche (43) im Steuerraum (32) angeordnet und dort mit dem darin herrschenden Steuerdruck beaufschlagbar ist,
- dass in einer Schließstellung der ersten Düsennadel (3) ein Axialspiel (44) zwischen dem ersten Steuerkolben (41) und der ersten Düsennadel (3) oder dem ersten Nadelverband (17) ausgebildet ist,
- 35 - dass der Steuerraum (32) über eine Drosselleitung (33) mit einem Druckraum kommuniziert,

- dass im Druckraum (34) ein Einspritzdruck einstellbar ist.

2. Einspritzdüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass eine erste Schließfeder (20) vorgesehen ist, welche zum einen die erste Düsennadel  
5 (3) oder den ersten Nadelverband (17) in Schließrichtung (21) antreibt und zum anderen  
direkt oder indirekt den ersten Steuerkolben (41) in eine Ausgangsstellung antreibt, in  
der das Axialspiel (44) zwischen erstem Steuerkolben (41) und erster Düsennadel (3)  
oder erstem Nadelverband (17) vorliegt.

10 3. Einspritzdüse nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,  
- dass sich die erste Schließfeder (20) über einen Mitnehmerring (22) am ersten  
Steuerkolben (41) abstützt,  
- dass der Mitnehmerring (22) bei Erreichen der Ausgangsstellung des ersten  
Steuerkolbens (41) an einem Anschlag (23) axial zur Anlage kommt.

15 4. Einspritzdüse nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Anschlag an einer Anschlaghülse (23) ausgebildet ist, die coaxial zum ersten  
Steuerkolben (41) angeordnet ist und sich an einem Düsenkörper (2) der Einspritzdüse  
(1) axial abstützt.

20 5. Einspritzdüse nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,  
dass der erste Steuerkolben (41) einen ersten Hubanschlag (53) für die erste Düsennadel  
(3) oder den ersten Nadelverband (17) bildet, so dass der erste Steuerkolben (41) in einer  
Öffnungsstellung der ersten Düsennadel (3) direkt an dieser oder am ersten  
25 Nadelverband (17) axial zur Anlage kommt.

6. Einspritzdüse nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,  
dass der erste Steuerkolben (41) einen zweiten Hubanschlag (55) für die zweite  
Düsennadel (4) oder den zweiten Nadelverband (30) bildet, so dass der erste  
30 Steuerkolben (41) in einer Öffnungsstellung der zweiten Düsennadel (4) direkt an dieser  
oder am zweiten Nadelverband (30) axial zur Anlage kommt.

7. Einspritzdüse nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,  
dass ein zweiter Hubanschlag (55'') für die zweite Düsennadel (4) direkt an der ersten  
35 Düsennadel (3) oder an einer Zwischenscheibe (56) des ersten Nadelverbands (17)  
ausgebildet ist.



8. Einspritzdüse nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,  
dass eine zweite Schließfeder (50) vorgesehen ist, die sich direkt oder indirekt am  
zweiten Steuerkolben (42) axial abstützt und über den zweiten Steuerkolben (42) die  
zweite Düsennadel (4) oder den zweiten Nadelverband (30) in Schließrichtung (21)  
antreibt.

9. Einspritzdüse nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,  
dass die zweite Schließfeder (50) im Steuerraum (32) angeordnet ist.

10. Einspritzdüse nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet,  
dass sich die zweite Schließfeder (50) an einem Federteller (46) abstützt, der axial am  
zweiten Steuerkolben (42) anliegt, im Steuerraum (32) axial verstellbar angeordnet ist  
und einen Druckausgleich zwischen seinen beiden, voneinander abgewandten  
Axialseiten (48, 49) ermöglicht.

11. Einspritzdüse nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Federteller (46) im Steuerraum (32) axial verstellbar gelagert ist und wenigstens  
eine Druckausgleichsöffnung (47) enthält, welche die Axialseiten (48, 49) des  
Federtellers (46) kommunizierend miteinander verbindet.

5

## Zusammenfassung

10

15

20

25

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Einspritzdüse (1) für eine Brennkraftmaschine, insbesondere in einem Kraftfahrzeug. Eine erste Düsennadel (3) steuert wenigstens ein erstes Spritzloch (5). Eine zweite Düsennadel (4) steuert wenigstens ein zweites Spritzloch (6). Ein Steuerraum (32) ist über eine Drosselleitung (32) mit einem Druckraum (34) verbunden, in dem ein Einspritzdruck einstellbar ist. Ein erster Steuerkolben (41) wirkt mit einem die erste Düsennadel (3) enthaltenden ersten Nadelverband (17) zusammen und ist an einer ersten Steuerfläche (43) mit dem im Steuerraum (32) herrschenden Steuerdruck beaufschlagbar. In der Schließstellung der ersten Düsennadel (3) ist ein Axialspiel (44) zwischen dem ersten Steuerkolben (41) und dem ersten Nadelverband (17) ausgebildet. Ein zweiter Steuerkolben (42) wirkt mit einem die zweite Düsennadel (4) enthaltenden zweiten Nadelverband (30) zusammen und ist an einer zweiten Steuerfläche (45) mit dem Steuerdruck beaufschlagbar. Der zweite Steuerkolben (42) stützt sich in einer Schließstellung der zweiten Düsennadel (4) am zweiten Nadelverband (30) ab. Bei mittleren bis hohen Drücken im Druckraum (34) können beide Düsennadeln (3, 4) schnell schließen. Bei schnellem Druckanstieg im Druckraum (34) kann die zweite Düsennadel (4) schnell öffnen und können beide Düsennadeln (3, 4) schnell schließen. Bei relativ langsamem bis mittlerem Druckanstieg im Druckraum (34) öffnet die zweite Düsennadel (4) nicht oder nur bei höherem Druck.

(Fig. 1)

30

1 / 2

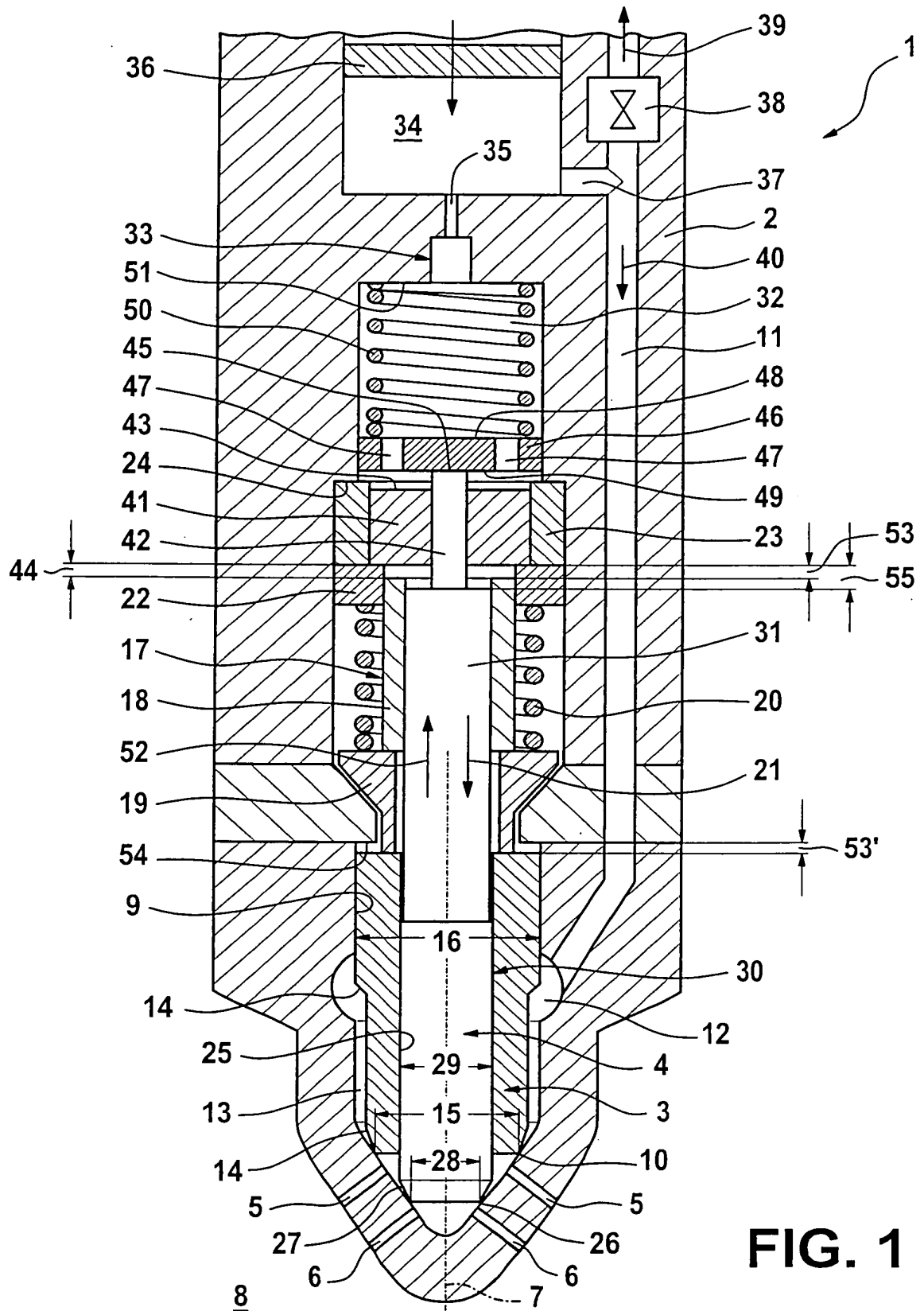


FIG. 1

2 / 2

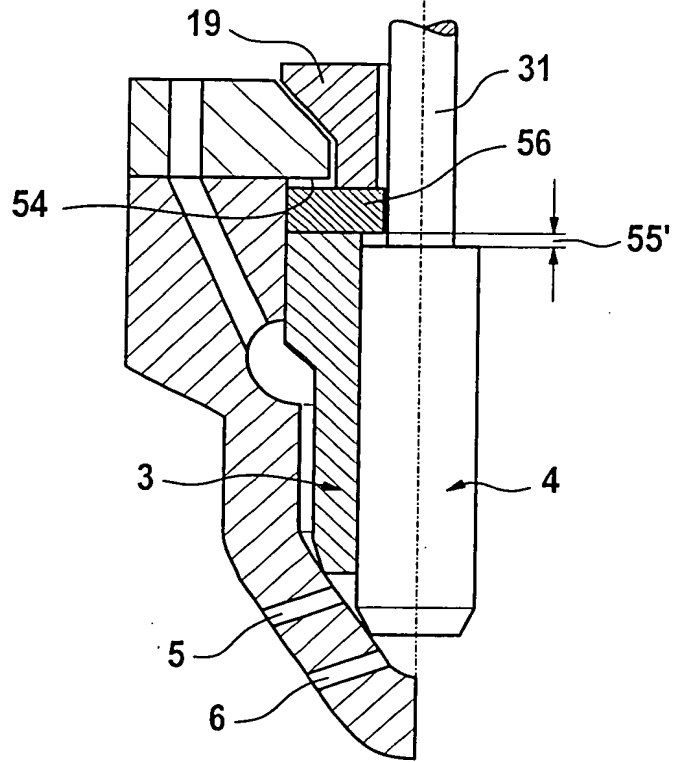


FIG. 2

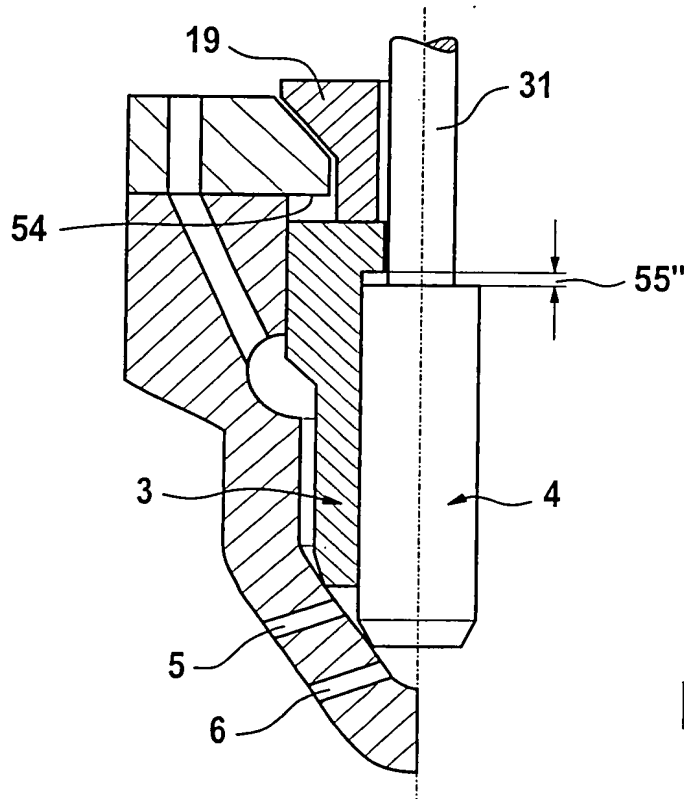


FIG. 3